

Lehrstuhl für Grünlandlehre der Technischen Universität München,  
Freising-Weihenstephan und Bayerische Landesanstalt für Bodenkunde und  
Pflanzenbau München

## Wanderung von $^{14}\text{C}$ -Assimilaten und $^{14}\text{C}$ -Herbiziden in Bärenklauptflanzen (*Heracleum sphondylium*)

Von

W. Kühbauch, A. Süss und V. Lang

### Einleitung

*Heracleum sphondylium* gehört zu den mehrjährigen Unkräutern, welche in den häufig besten Grünlandlagen mit großer Stetigkeit vorkommen und sich zur absolut dominierenden Art entwickeln können. Mit seiner tiefreichenden Pfahlwurzel und einer hohen Samenproduktion kann Bärenklau selbst bei intensiver Bewirtschaftung durch raschen ausladenden Bewuchs wertvolle Gräser und Kleearten verdrängen. Mit Bewirtschaftungsmaßnahmen konnten bisher kaum nachhaltige Erfolge in der Bekämpfung von Bärenklau erzielt werden, statt dessen kommen in steigendem Umfang chemische Verbindungen auf der Basis von Phenoxyderivaten zum Einsatz, aber auch diese nur mit wechselndem Erfolg. Das zeigt, daß über den Zusammenhang zwischen der physiologischen Entwicklung von Bärenklau und dem Wirkungsgrad einer Bekämpfung wenig bekannt ist. Nach CRAFTS u. a. (1964) werden die Phenoxyverbindungen in der Pflanze mit dem Phloemstrom transportiert. Ihre Wirkung hängt deshalb ab von der Richtung des Assimilatstroms und dem Reservestoffwechsel der Pflanzen. In dieser Arbeit soll versucht werden, den quantitativen Zusammenhang zwischen der Wanderung von  $^{14}\text{C}$ -Assimilaten und  $^{14}\text{C}$ -Phenoxyverbindungen in Bärenklauptflanzen herzustellen und damit der optimale Bekämpfungszeitpunkt gefunden werden.

### Material und Methoden

#### Pflanzenmaterial

Die Versuchspflanzen wurden im Frühjahr 1973 auf einer Wiese in der Umgebung von Freising ausgegraben und in Mitscherlichtöpfe gepflanzt. Die  $^{14}\text{C}$ -Applikation in Form von  $\text{CO}_2$  bzw. 2,4-D und 2,4,5-T wurde in 4 bzw. 2 verschiedenen Entwicklungsstadien an jeweils 6 bzw. 3 Pflanzen gleichzeitig vorgenommen.

1. Stadium: Pflanzen in der vegetativen Entwicklung vor der Sproßstreckung, 2. Stadium: Zur Zeit der Sproßstreckung, 3. Stadium: Zur Zeit der Blüte, 4. Stadium: Hauptsproß mit Samen. Die  $^{14}\text{CO}_2$ -Behandlung

### Applikation von $^{14}\text{C}$ -Phenoxyverbindungen

$^{14}\text{C}$ -markierte Präparate vom Typ 2,4-D (2,4-Dichlorphenoxyessigsäure-1- $^{14}\text{C}$ ) und 2,4,5-T (2,4,5-Trichlorphenoxyessigsäure-1- $^{14}\text{C}$ ) wurden zu etwa 15 Mikrocurie im 1. und 3. Entwicklungsstadium der Pflanzen auf jeweils ein Blatt pro Pflanze mit einem Pinsel aus Benzollösung aufgetragen. Die spezifische Aktivität betrug in 2,4-D 31 mCi/mmol (140  $\mu\text{Ci}/\text{mg}$ ), in 2,4,5-T 56 mCi/mmol (218- $\mu\text{Ci}/\text{mg}$ ).

### Ergebnisse

Die schematische Wiedergabe des Pflanzenkörpers in den Abbildungen 2 bis 5 enthält die relative Impulsrate von C-14 je Gramm trockener Pflanzenmasse in den deutlich voneinander unterscheidbaren, auf den Abbildungen mit arabischen Ziffern gekennzeichneten Pflanzenorganen.

Für den 1., 3. und 7. Tag nach  $^{14}\text{C}$ -Applikation sind in den Abbildungen je 3 Teilschemen dargestellt. Doppelringe zeigen voneinander abweichende Ergebnisse von Paralleluntersuchungen aus je 2 Pflanzenindividuen an. Es wurde versucht, den individuellen Fehler durch Auswahl sehr ähnlich entwickelter Pflanzen möglichst gering zu halten.

Wie aus Abbildung 2 (Teilabbildung „ $\text{CO}_2$ “) hervorgeht, wandern die  $^{14}\text{C}$ -Assimilate vor der Sproßstreckung der Pflanzen innerhalb des Beobachtungszeitraumes rasch und mit relativ hohen Anteilen in den Vegetationspunkt (Pflanzenteil 2). Auch das Rhizom des begasten Blattes wird offenbar sehr rasch mit Assimilaten versorgt, ebenso die an diesem Rhizom anschließenden Wurzeln. Wurzeln und Sproß des Nachbarrhizoms zeigen dagegen erst 3 bzw. 7 Tage nach der  $^{14}\text{C}$ -Behandlung größere Radioaktivität. Unter Berücksichtigung der anteiligen Trockenmasse am gesamten Pflanzenkörper, verläuft in diesem Entwicklungsstadium der Assimilatetransport überwiegend in den Wurzelteil der Pflanze.

In der selben Abbildung (Teilabbildung „2,4-D bzw. 2,4,5-T“) ist an Pflanzen des nämlichen Entwicklungsstadiums die Umlagerung des  $^{14}\text{C}$ -markierten 2,4-D bzw. 2,4,5-T gezeigt. Insbesondere für 2,4-D ist offenbar wiederum der Vegetationspunkt das bevorzugte Zielorgan im Sproßteil der Pflanzen. Darüberhinaus scheint aber eine Bevorzugung der oberirdischen Pflanzenteile ebensowenig gegeben zu sein wie nach der  $\text{CO}_2$ -Behandlung. Im Falle des 2,4,5-T erfolgt die Verteilung der Radioaktivität beinahe gleichmäßig über die Wurzel und den Sproß der Pflanze. Nur zum letzten Beobachtungspunkt, 7 Tage nach  $^{14}\text{C}$ -Applikation erscheinen vergleichsweise hohe  $^{14}\text{C}$ -Aktivitäten im Sproß. Diese sind jedoch weniger auf den Vegetationspunkt konzentriert, als es nach der  $\text{CO}_2$ - und 2,4-D-Behandlung festzustellen war. Darin könnte ein Hinweis gesehen werden für eine nicht stets quantitative Beziehung zwischen Assimilatestrom und Herbizidwanderung. Es mag aber auch die Individualität der Pflanzen Unterschiede dieser Art mitbedingen. Auffallend ist jedoch, daß stets 6 (bzw. 3 bei Anwendung der Phenoxyverbindungen) verschiedene Pflanzen (für die 3 Beobachtungszeiträume am 1., 3. und 7. Tag nach Applikation) innerhalb der Versuchsgruppen mit  $\text{CO}_2$ , 2,4-D und 2,4,5-T recht einheitlich die  $^{14}\text{C}$ -Umlagerung betreiben.

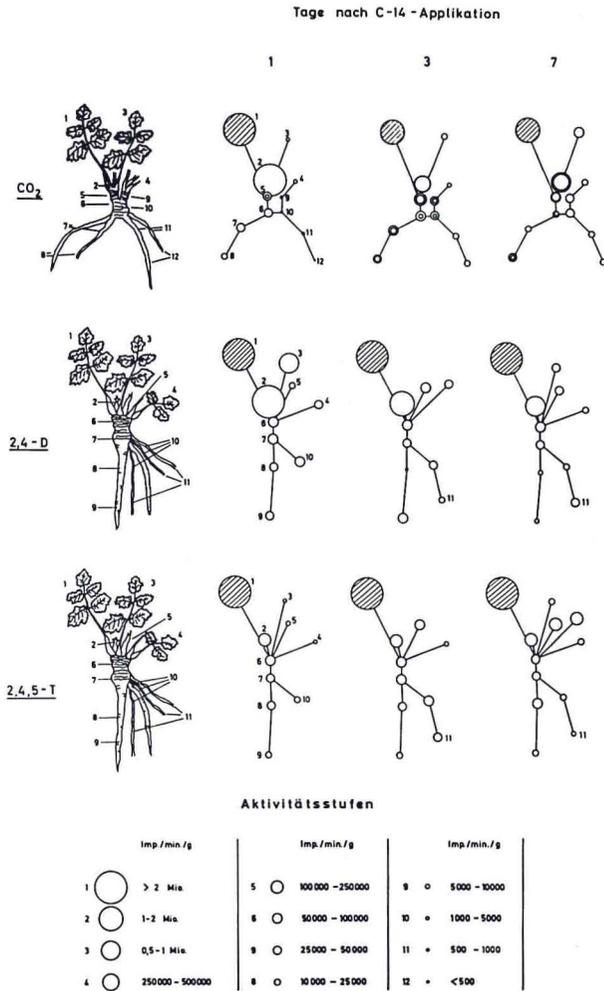


Abb. 2: Verteilung der  $^{14}\text{CO}_2$ ,  $^{14}\text{C}$ -2,4-D- und  $^{14}\text{C}$ -2,4,5-T-Aktivität in Bärenklau-pflanzen 1, 3 und 7 Tage nach  $^{14}\text{C}$ -Applikation; Pflanzen im vegetativen Entwicklungsstadium vor der Sproßstreckung.

$\text{CO}_2$ : 1 =  $^{14}\text{CO}_2$ -begastetes Blatt; 2 = Vegetationspunkt; 3 = Blatt der behandelten Rosette; 4 = Blätter einer Nachbarrosette; 5 und 6 = oberer und unterer Teil des behandelten Rhizoms; 7 und 8 = oberer und unterer Wurzelteil zu 5 und 6; 9 und 10 = oberer und unterer Teil des Nachbarrhizoms; 11 und 12 = obere und untere Wurzelteile zu 9 und 10.

2,4-D und 2,4,5-T: 1 =  $^{14}\text{C}$ -behandeltes Blatt; 2 = Vegetationspunkt; 3 = Blatt der behandelten Rosette; 4 und 5 = älteres und jüngeres Blatt der Nachbarrosette; 6 und 7 = oberer und unterer Teil des Rhizoms; 8 und 9 = oberer und unterer Teil der Hauptwurzel; 10 und 11 = oberer und unterer Teil der Nebenwurzeln.

Abbildung 3 zeigt die Umlagerung von  $^{14}\text{C}$ -Assimilaten in Bärenklau-pflanzen, welche sich zum Zeitpunkt der  $\text{CO}_2$ -Begasung in der Sproßstreckungsphase befanden. In diesem Stadium ist der Assimilatestrom noch am 7. Tage nach der Begasung überwiegend in den Sproßteil der Pflanze gerichtet. Mit Ausnahme des Rhizoms, in dem Impulsraten bis 100 000 erzielt werden (1 Tag nach Begasung), sind im Wurzelteil der Pflanze nur

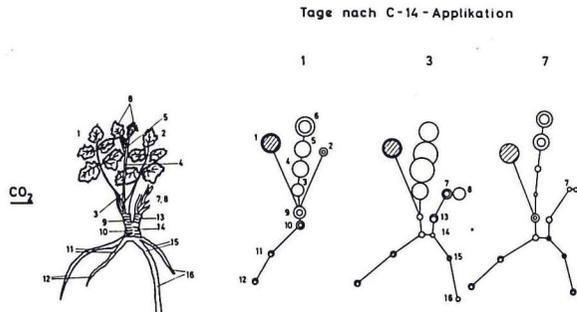


Abb. 3: Verteilung der  $^{14}\text{CO}_2$ -Aktivität in Bärenklaupflanzen 1, 3 und 7 Tage nach  $^{14}\text{C}$ -Applikation; Pflanzen im Stadium der Sproßstreckung.

1 =  $^{14}\text{CO}_2$ -begastetes Blatt; 2 = Blätter der behandelten Rosette; 3 und 4 = unterer und oberer Sproßteil (1–2 Internodien); 5 = Sproßspitze (1 Internodium); 6 = Blatt und Blütenanlagen zu 5; 7 und 8 = obere und untere Teile der Nachbarrosette (z. T. mit Blütenanlagen); 9 und 10 = oberer und unterer Teil des behandelten Rhizoms; 11 und 12 = oberer und unterer Wurzelteil zu 9 und 10; 13 und 14 = oberer und unterer Teil des Nachbarrhizoms; 15 und 16 = oberer und unterer Wurzelteil zu 13 und 14.

geringe Aktivitäten zu finden. Auch zur Zeit der Blüte hält diese sproßorientierte Assimilatewanderung an (Abb. 4). Der Assimilatestrom ist hier nahezu ausschließlich in den Sproßteil der Pflanzen orientiert. Nennenswerte  $^{14}\text{C}$ -Aktivität im Rhizom ist erst 7 Tage nach  $\text{CO}_2$ -Behandlung feststellbar. Erwartungsgemäß fließen 2,4-D und 2,4,5-T (s. Abb. 3) ebenfalls in den Sproß; 2,4,5-T allerdings wieder mit der Einschränkung, die sich schon aus der Abbildung 2 machen ließ, daß diese Verknüpfung beider Vorgänge, Assimilate- und Herbizidwanderung, offenbar nicht voll quantitativ existiert. So bleiben in den ersten 3 Tagen nach der Applikation wesentlich höhere Aktivitäten aus 2,4,5-T im Rhizom als nach Begasung; auch werden in der Sproßspitze bzw. Blütenanlage nur  $^{14}\text{C}$ -Aktivitäten der Größenordnung bis 500 000 gegenüber 2 Mio. Imp/Min./g nach Begasung erzielt, trotz ähnlicher Ausgangskonzentration am behandelten Blatt.

In 2,4-D konnten zwar in diesem Versuch nur relativ geringe Mengen von C-14 auf das behandelte Blatt gebracht werden, trotzdem ist die eindeutig sproßorientierte Wanderung von C-14 unverkennbar.

Die einzige Entwicklungsphase von Bärenklau, in der schließlich der Assimilatetransport eindeutig in die Wurzel orientiert ist, fanden wir in einem Entwicklungsstadium nach der Blüte, wenn der Hauptsproß bereits

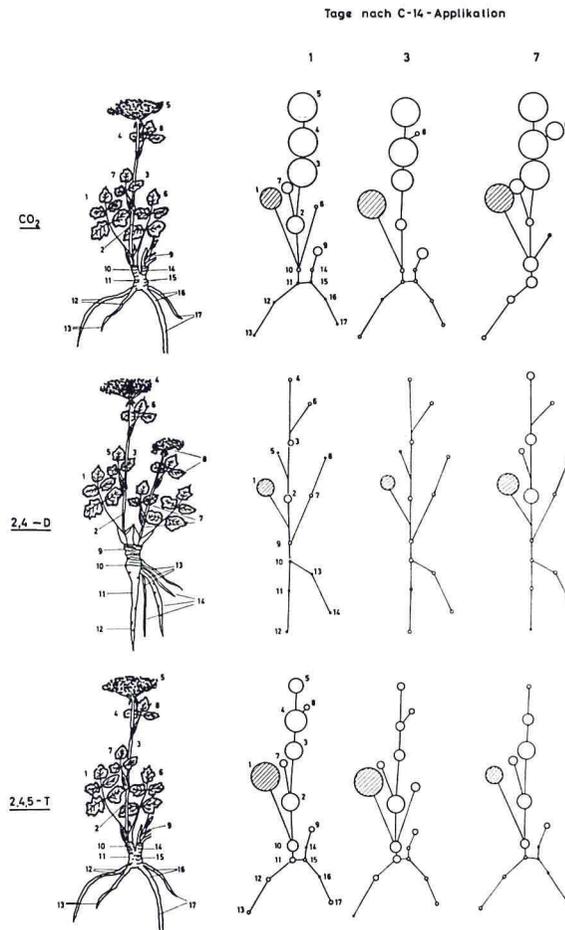


Abb. 4: Verteilung der  $^{14}\text{C}$ - $\text{CO}_2$ -,  $^{14}\text{C}$ -2,4-D- und  $^{14}\text{C}$ -2,4,5-T-Aktivität in Bärenklaupflanzen 1, 3 und 7 Tage nach  $^{14}\text{C}$ -Applikation; Pflanzen im Blühstadium.

$\text{CO}_2$  und 2,4,5-T: 1 =  $^{14}\text{C}$ -behandeltes Blatt; 2 und 3 = unterer und oberer Sproßteil (2—3 Internodien); 4 = Sproßspitze (1 Internodium); 5 = Blüte; 6 = behandelte Rosette; 7 = Blatt zu 2; 8 = Blatt zu 3; 9 = Nachbarrosette mit Sproß; 10 und 11 = oberer und unterer Teil des behandelten Rhizoms; 12 und 13 = obere und untere Wurzelteile zu 10 und 11; 14 und 15 = oberer und unterer Teil des Nachbarrhizoms; 16 und 17 = obere und untere Wurzelteile zu 14 und 15.

2,4-D: 1 =  $^{14}\text{C}$ -behandeltes Blatt; 2 und 3 = unterer und oberer Teil des Sprosses (je 2 Internodien); 4 = Blüte; 5 und 6 = Blätter zu 2 und 3; 7 und 8 = unterer und oberer Teil weiterer Sprosse; 9 und 10 = oberer und unterer Teil der Hauptwurzel; 13 und 14 = oberer und unterer Teil der Nebenwurzeln.

Samen ausgebildet hat und diese zur Reife bringt. So zeigen die Pflanzenteile 13, 14 und 15 (Abb. 5) des Nachbarrhizoms 7 Tage nach  $^{14}\text{C}$ -Applikation höhere Aktivitäten als der Hauptsproß, an dem das begaste Blatt inseriert ist. Die im Vergleich zum Blühstadium (Abb. 4) geringe  $\text{CO}_2$ -Aufnahme der Pflanzen hängt damit zusammen, daß die Blätter zu diesem Zeitpunkt schon an Vitalität eingebüßt haben. Was daraus hervorgeht, daß trotz gleicher Gaskonzentration und Begasungsdauer vom behandelten Blatt erheblich weniger  $\text{CO}_2$  aufgenommen wird.

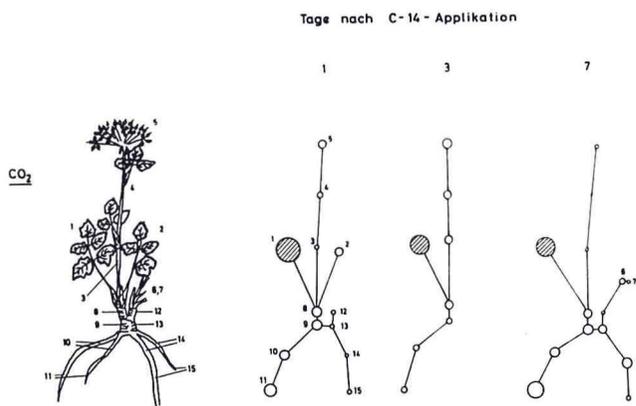


Abb. 5: Verteilung der  $^{14}\text{CO}_2$ -Aktivität in Bärenklaupflanzen 1, 3 und 7 Tage nach  $^{14}\text{C}$ -Applikation; Pflanzen im Stadium der Samenreife.

1 = begastes Blatt; 2 = Blätter der begasten Rosette; 3 und 4 = unterer und oberer Sproßteil; 5 = Samen; 6 und 7 = unterer und oberer Teil einer Nachbarrosette; 8 und 9 = oberer und unterer Teil des behandelten Rhizoms; 10 und 11 = obere und untere Wurzelteile zu 8 und 9; 12 und 13 = oberer und unterer Teil des Nachbarrhizoms; 14 und 15 = obere und untere Wurzelteile zu 12 und 13.

### Diskussion

Die Verteilung der  $^{14}\text{C}$ -Aktivität in Bärenklaupflanzen nach Applikation von  $^{14}\text{CO}_2$ ,  $^{14}\text{C}$ -2,4-D und  $^{14}\text{C}$ -2,4,5-T hat ergeben, daß im Falle der 2,4-D-Umlagerung praktisch eine volle quantitative Beziehung zum Assimilatestrom besteht. Diese möglicherweise als Gesetzmäßigkeit (CRAFTS und YAMAGUCHI 1964, MÜLLER 1969) vorliegende Beziehung kann dagegen für 2,4,5-T aus den vorliegenden Ergebnissen nur näherungsweise angenommen werden. Nichtdestoweniger scheint auch für die Translokation von 2,4,5-T ein ursächlicher Zusammenhang zur Richtung und Intensität des Assimilatestroms zu existieren. Es ergibt sich daraus ein wichtiger Hinweis für die erfolgreiche Anwendung von Phenoxyverbindungen zur Bekämpfung der Bärenklaupflanzen. Darüber hinaus ist jedoch zu beachten, daß eine hinreichend große assimilationsfähige Blattmasse zur Aufnahme einer genügenden Herbizidmenge vorhanden ist. Regenerationsversuche mit Bärenklauwurzeln zeigten, daß es vorrangiges Ziel einer chemischen Bekämpfung sein

muß, das zum Wiederaustrieb fähige Rhizom abzutöten. Allein von der Wanderung der Assimilate gesehen wäre der günstigste Anwendungszeitpunkt nach unseren Ergebnissen mit großer Sicherheit während der Samenreife gegeben, wenn der überwiegende Assimilateanteil in das Rhizom und in die Wurzel wandert. Zum nämlichen Zeitpunkt ist allerdings die Vitalität der Blätter nicht mehr, wie in den vorangehenden Vegetationsstadien gegeben. Während dieser Zeit endet auch der Anstieg der Stärkekonzentration in den Bärenklauwurzeln (LANG u. M. 1975).

Während der vegetativen Wachstumsphase (1. Stadium) und der Sproßstreckung (2. Stadium) werden zwar relativ weniger Assimilate bzw. Phenoxyverbindungen in den Wurzelteil von Bärenklau abgeleitet als zur Zeit der Samenreife (4. Stadium), aber die Pflanze besitzt eine große noch voll intakte Blattmasse. Immerhin wurden auch in diesen beiden Vegetationsstadien bis zu 100 000 Impulse im Rhizom, dem regenerationsfähigen Teil der Wurzel, gefunden.

Für die Anwendung von Herbiziden vom Typ der Phenoxyverbindungen kommen daher nach unserer Auffassung nur zwei Zeiträume in Frage: Einmal während des vegetativen Wachstums bis zum Erscheinen der Blütentriebe, wobei die Blattrosette voll entwickelt sein muß, zum anderen nach der Blüte, solange die Blätter noch nicht vergilbt sind. Der ungünstige Zeitpunkt für eine Herbizidanwendung scheint während der Blüte gegeben zu sein, in dem Assimilate nahezu ausschließlich in den Sproß und in die oberen Sproßteile wandern.

#### Zusammenfassung

An Bärenklaupflanzen wurde die Wanderung von  $^{14}\text{CO}_2$ ,  $^{14}\text{C}$ -2,4-D und  $^{14}\text{C}$ -2,4,5-T in vier Wachstumsphasen untersucht. Es sollte damit der quantitative Zusammenhang zwischen der Assimilatewanderung und der Umlagerung von Phenoxyherbiziden aufgezeigt werden. Die Begasungsvorrichtung zur  $^{14}\text{CO}_2$ -Applikation ist ausführlich beschrieben.

In der vegetativen Wachstumsphase vor dem Einsetzen der Sproßstreckung ist der Wurzelteil der Pflanzen das bevorzugte Zielorgan für Assimilate und 2,4-D. Eine enge quantitative Beziehung von Richtung und Intensität der jeweiligen  $^{14}\text{C}$ -Aktivität konnte gezeigt werden. Näherungsweise gilt eine nämliche Beziehung auch für 2,4,5-T. Zur Zeit der Blütenbildung ist  $^{14}\text{C}$ -Aktivität eindeutig in den Sproß bzw. die Blütenanlage orientiert. Umgekehrt nehmen während der Samenreife Rhizom und Wurzel nahezu ausschließlich die  $^{14}\text{C}$ -Verbindungen auf. Für einen optimalen Bekämpfungserfolg mit Phenoxypräparaten kommen daher 2 Zeitpunkte mit vorzugsweise 2,4-D-Anwendung in Frage: Einmal während des vegetativen Wachstums bis zum Erscheinen der Blütentriebe, zum anderen nach der Blüte, solange noch ausreichend assimilierende Blattmasse zur Verfügung steht.

#### Summary

##### Translocation of $^{14}\text{C}$ -Assimilates and $^{14}\text{C}$ -Herbicides in Cow Parsnip (*Heracleum sphondylium*)

In cow parsnip translocation of  $^{14}\text{CO}_2$ ,  $^{14}\text{C}$ -2,4-D and  $^{14}\text{C}$ -2,4,5-T was

investigated during four growth phases. It was intended to find out the quantitative correlation between the translocation of phenoxy herbicides and assimilates. The gas exchange chamber used for  $^{14}\text{CO}_2$  application is described.

Before shoot extension, the root of the plants is the preferred target for assimilates and 2,4-D. Close quantitative correlation was found between the respective  $^{14}\text{C}$  activities as regards direction of translocation and radioactivity per dry weight. Similar results were found with 2,4,5-T. At flowering  $^{14}\text{C}$  activity moves clearly into the shoot and the inflorescence. At seed maturity, rhizomes and roots take in the  $^{14}\text{C}$  activity preferably. Consequently, two growing phases are recommended for optimal weed control by phenoxy compounds, especially 2,4-D: before shooting or after flowering, if sufficient assimilating leaves are left.

#### Literatur

- CRAFTS, A. S.: Absorption and translocation of labeled tracers. *Ann. N. Y. Acad. Sci.* **144**, 1967, 357—361.
- CRAFTS, A. S. und S. YAMAGUCHI: The autoradiography of plant materials. *Calif. Agr. Expt. Sta. Extension Service Manual* **35**, 1964; zit. n. MÜLLER, F., 1969.
- LANG, V., G. VOIGTLÄNDER und W. KÜHBAUCH: Zum Reservestoffwechsel von stumpfblättrigem Ampfer (*Rumex obtusifolius* L.). *Weed Res.* **15**, 1975, 153—158.
- MÜLLER, F.: Zusammenhänge zwischen Entwicklungsalter, Kohlenhydrathaushalt und Transport von  $^{14}\text{C}$ -MCPA bei einigen mehrjährigen Unkräutern. *Z. Pflanzenkrankheit. Pflanzenschutz* **76**, 1969, 473—483.

Die Untersuchungen wurden mit Unterstützung der Deutschen Forschungsgemeinschaft durchgeführt. Dafür sei auch an dieser Stelle gedankt.

Anschrift der Verfasser:

Dr. W. KÜHBAUCH und Dr. V. LANG, Lehrstuhl für Grünlandlehre,  
Technische Universität München, 8050 Freising-Weihenstephan.

Dr. A. SÜSS, Bayerische Landesanstalt für Bodenkultur und Pflanzenbau,  
Menzingerstraße 54, 8000 München 19.